



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

Offenlegungsschrift  
10 DE 44 11 098 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 R 23/16

21 Aktenzeichen: P 44 11 098.7  
22 Anmeldetag: 30. 3. 94  
43 Offenlegungstag: 5. 10. 95

DE 44 11 098 A 1

71 Anmelder:  
Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, 81671 München,  
DE

74 Vertreter:  
Graf, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 81667 München

72 Erfinder:  
Claeßen, Susanne, Dipl.-Ing., 81541 München, DE;  
Bott, Rainer, Dipl.-Ing., 82346 Andechs, DE

54 DFT-Spektrum- oder Netzwerkanalysator

57 Bei einem Spektrum- oder Netzwerkanalysator, bei dem das zu analysierende Analogsignal z. B. mittels eines Wobbeloszillators in ein Zwischenfrequenzsignal umgesetzt, durch einen A/D-Wandler in ein Digitalsignal umgewandelt, dann in einem digitalen Signalprozessor mit einer Fensterfunktion multipliziert und schließlich mittels diskreter Fouriertransformation ausgewertet wird, wird das Digitalsignal vor der diskreten Fouriertransformation nach dem Zero-Padding-Verfahren behandelt.

DE 44 11 098 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 95 508 040/231

4/28

Die Erfindung betrifft einen Spektrum- oder Netzwerkanalysator laut Oberbegriff des Patentanspruchs.

Analysatoren dieser Art, bei denen das durch Wobbeln vorzugsweise ins Basisband umgesetzte analoge Meßsignal nach Digitalisierung mittels diskreter Fouriertransformation (DFT), vorzugsweise durch Fast-Fourier-Transformation (FFT) aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich umgesetzt und so ausgewertet werden, sind bekannt. Es ist auch bekannt, hierbei die zu analysierenden Signalabschnitte der Länge  $N$  mit einer entsprechenden Fensterfunktion, beispielsweise einem Rechteckfenster oder einem sogenannten Gauß-Fenster, zu multiplizieren, um hierdurch Leakage-Effekte zu verringern.

Bei Analysatoren dieser Art besteht für die Untersuchung spezieller Signale die Notwendigkeit, die Meßzeit so gering wie möglich zu halten. Dies ist bei den bekannten Analysatoren nicht ohne Herabsetzung der spektralen Auflösung möglich.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen DFT-Spektrum- oder Netzwerkanalysator der eingangs erwähnten Art zu schaffen, der mit minimaler Meßzeit arbeitet.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Analysator laut Patentanspruch durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Das sogenannte Zero-Padding-Verfahren ist im Zusammenhang mit Spektrumanalysatoren an sich bekannt (Marple, S. Lawrence, JR. "Digital Spectral Analysis", Chap. 2, Seite 44 oder Gardner, William A. "Statistical Spectral Analysis", Chap. 6, Seite 180). Nach diesen Verfahren werden im DFT-Zeitfenster Nullen angefügt. Dieses bekannte Verfahren wird bei Spektrumanalysatoren, die mit einer festen Frequenzeinstellung arbeiten, also keinen Wobbeloszillator aufweisen, zur Erhöhung der Genauigkeit der Darstellung von z. B. spektralen Maxima eingesetzt. Durch die Anwendung dieses an sich bekannten Zero-Padding-Verfahrens bei einem Analysator mit eingangsseitigem Wobbeloszillator wird gemäß der Erfindung der Vorteil erzielt, daß neben der Einhaltung der Schätzgenauigkeit von spektralen Komponenten zusätzlich noch die Wobbelgeschwindigkeit erhöht werden kann und damit auch spezielle Signale mit minimaler Meßzeit auswertbar sind. Durch das Zero-Padding-Verfahren ist es möglich, die Anzahl  $N$  der durch die DFT zu verarbeitenden Abtastwerte zu reduzieren. Dabei wird der zu verarbeitende Zeitabschnitt unter Beibehaltung der Länge  $N$  dem Fourier-Transformation bei gleichzeitigem Angleich der Länge der Fensterfunktion durch Auffüllen mit Nullen gemäß dem Zero-Padding-Verfahren verkleinert. Infolge der Reziprozität von Zeit- und Frequenzauflösung bedeutet dies eine spektrale Verbreiterung der an den zu verarbeitenden Zeitabschnitt angepaßten Fensterfunktion. Infolge der spektralen Faltung des Fensters mit dem zu analysierenden Signalabschnitt ergibt sich für letzteren eine Verbreiterung der einzelnen Spektralkomponenten, so daß zwar Feinstrukturen verlorengehen, die nominelle Frequenzauflösung und Frequenzmeßgenauigkeit jedoch erhalten bleibt. Damit kann die Wobbelgeschwindigkeit des Wobbeloszillators je nach Bedarf erhöht werden ohne daß die Frequenzauflösung und Meßgenauigkeit beeinträchtigt wird.

Die Erfindung wird im folgenden anhand einer schematischen Zeichnung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Die Fig. zeigt das Prinzipschaltbild eines sogenannten

DFT-Spektrum- oder Netzwerk-Analysators, bei dem das zu analysierende Eingangssignal  $X$  mittels eines Wobbeloszillators 1, vorzugsweise eines in Schritten beispielsweise zwischen 0 und 1 GHz mit einer vorbestimmten Wobbelgeschwindigkeit  $v$  (Hz/s) in einem Mischer 2 auf eine feste Zwischenfrequenz umgesetzt wird. Nach einem Zwischenfrequenzfilter 3 wird in diesem Ausführungsbeispiel durch einen weiteren Überlagerungssoszillator 4 im Mischer 5 das Zwischenfrequenzsignal ins Basisband umgesetzt und nach einem Tiefpaß 6 in einem Analog/Digital-Wandler 7, der mit der Abtastfrequenz  $f_a$  arbeitet, digitalisiert. Das Digitalsignal  $D$  wird dann einem digitalen Signalprozessor 8 zugeführt in welchem es zunächst dem Zero-Padding-Verfahren ZP ausgesetzt, dann mit einer Fensterfunktion  $F$  multipliziert und schließlich mit Hilfe der DFT, vorzugsweise der FFT, in den Frequenzbereich transformiert und ausgewertet und beispielsweise auf einem Bildschirm 9 grafisch dargestellt wird. Die Ausgestaltung des vor dem Signalprozessor 8 liegenden Schaltungsteils kann beliebig realisiert werden; er kann z. B. auch komplex (zweikanalig) arbeiten.

Die Wobbelgeschwindigkeit  $v$  und damit die Verweilzeit auf einer Frequenz wird durch die Sample-Zeit  $T$  der DFT bestimmt, letztere ergibt sich aus der Anzahl  $N$  der durch die DFT zu verarbeitenden Abtastwerte und der Abtastfrequenz  $f_a$  des A/D-Wandlers 7 zu  $T = N/f_a$ . Durch Reduzierung der Abtastwerte des Zeitfensters auf  $N'$  kann also die DFT-Sample-Zeit vermindert und damit die Wobbelgeschwindigkeit erhöht werden. Ohne Anwendung des Zero-Padding-Verfahrens würde hierdurch die spektrale Auflösung verringert werden und es könnten lokale Maxima nicht mehr eindeutig bestimmt werden. Durch den Einsatz des Zero-Padding-Verfahrens, das heißt durch Auffüllen des DFT-Zeitfensters mit Nullen wird dieser Nachteil jedoch vermieden.

Die Länge des DFT-Fensters kann beliebig sein, das Zero-Padding-Verfahren kann stufenlos eingestellt werden, die Anzahl der an die Zeitfolge angehängten Nullen ist beliebig wählbar. Das bewirkt, daß auch die Fensterlänge beliebig wählbar sein muß, da die Fensterlänge mit der Signallänge übereinstimmt, so daß die Fensterstützpunkte je nach Länge des Zeitsignals entweder neu berechnet oder entsprechend oft im Speicher abgelegt werden müssen. Die Fensterfunktion ist beliebig wählbar, je nach der gewünschten Charakteristik, beispielsweise Weitabselektion oder Hauptselektion.

Bei Anwendung einer FFT, die nur 2er-Potenzen annimmt, ist die Länge der an das Zeitsignal angehängten Nullen vorzugsweise nur stufenweise einstellbar, so daß die Stützstellen der Fensterfunktion nur für die maximale Auflösung im Speicher abgelegt werden. Alle Stützstellen für kleinere Fensterlängen können durch Zugriff mit entsprechenden Offset direkt aus der Tabelle entnommen werden.

Schließlich hat es sich noch als vorteilhaft erwiesen, im Zusammenhang mit FFT ein sogenanntes Gauß-Fenster zu verwenden, das sich sehr variabel bezüglich Breite der Hauptselektion und Weitabselektion verhält. Im Zusammenhang mit dem Zero-Padding-Verfahren läßt sich durch Variation der Fensterlänge die 3 dB-Bandbreite und die Lage der Nebenmaxima verändern.

#### Patentanspruch

Spektrum- oder Netzwerkanalysator, bei dem das zu analysierende Analogsignal durch einen A/D-Wandler in ein Digitalsignal umgewandelt wird, das

in einem digitalen Signalprozessor mit einer Fensterfunktion multipliziert und dann mittels diskreter Fouriertransformation ausgewertet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Digitalsignal vor der diskreten Fouriertransformation nach dem Zero-Padding-Verfahren behandelt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

